

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI “FEDERICO II”



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base
Tesi di Laurea
in

Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Dipartimento di Ingegneria Chimica, dei Materiali e della
Produzione Industriale

**FILTRI ANTIPARTICOLATO PER LA GESTIONE
DELLE POLVERI SOTTILI NEI MOTORI DIESEL**

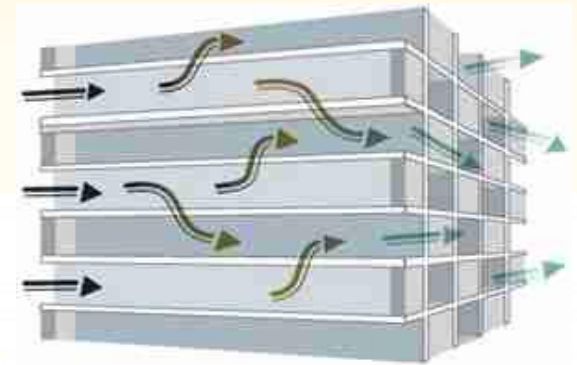
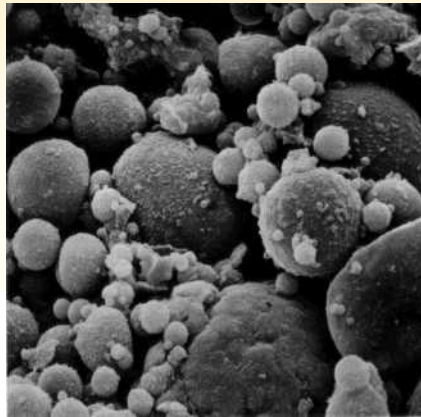
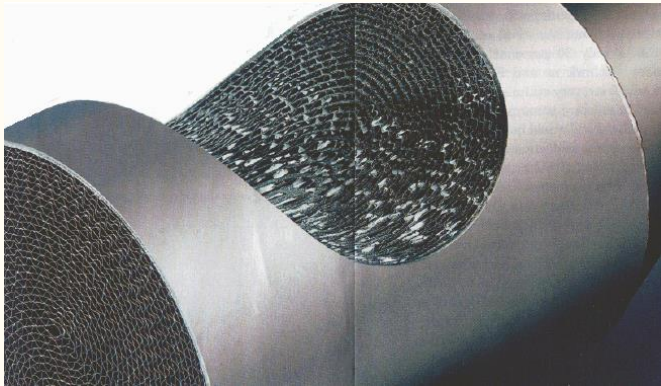
Relatore:
Prof. Bruno de Gennaro

Candidato:
Alessandro Maria Dinuzzi
Matr. N49/087

Anno Accademico 2014-2015

OBIETTIVI DELLA TESI

- ANALISI DEL PARTICOLATO EMESSO DA MOTORI DIESEL
- ANALISI DEI FILTRI ANTI-PARTICOLATO



IL PARTICOLATO

Classi qualitative:

Aerosol: particelle

liquide o solide sospese,
di diametro minore di 1
 μm .

Particolato Carbonioso:

consiste nella parte
solida, presente
nell'aerosol.

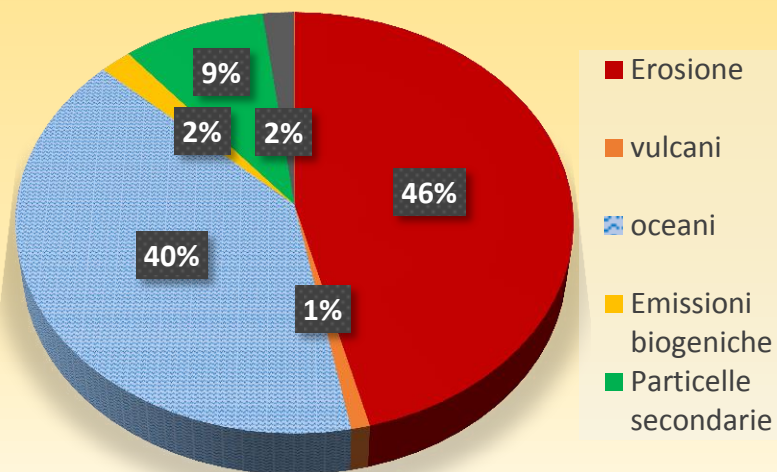
Classi quantitative:

NATURALE

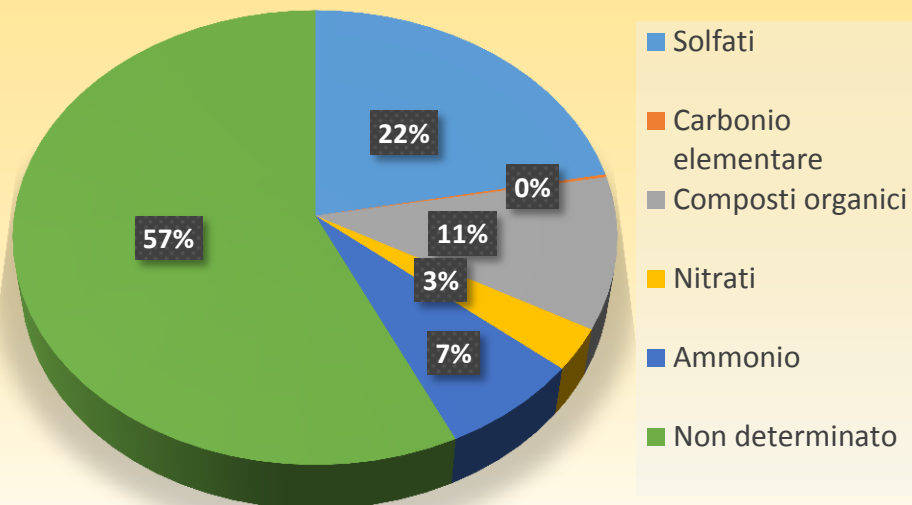
ANTROPICA

Il particolato: l'insieme delle
sostanze sospese in aria (fibre,
particelle carboniose, metalli,
silice, inquinanti liquidi o
solidi).

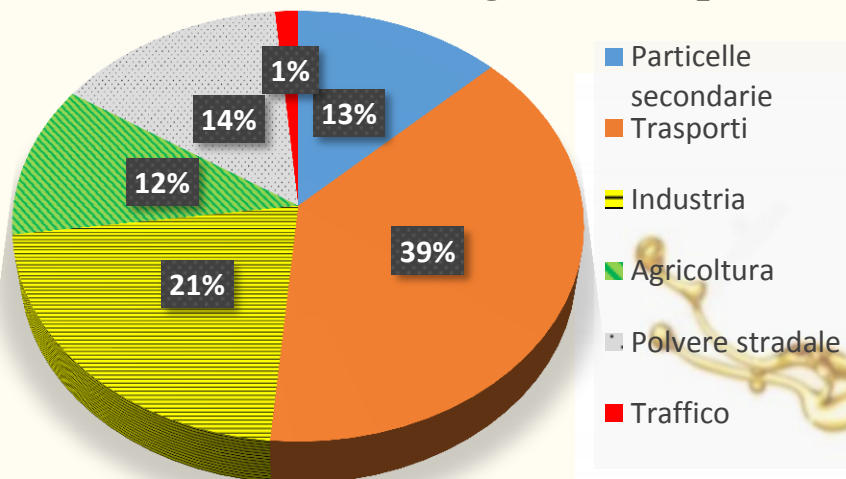
Particolato di origine naturale



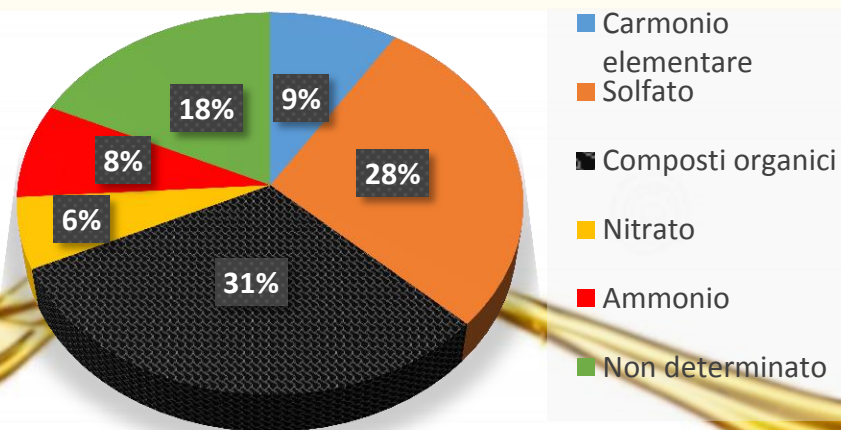
Composizione chimica Particolato naturale



Particolato di origine Antropica



Composizione chimica Particolato di origine Antropica

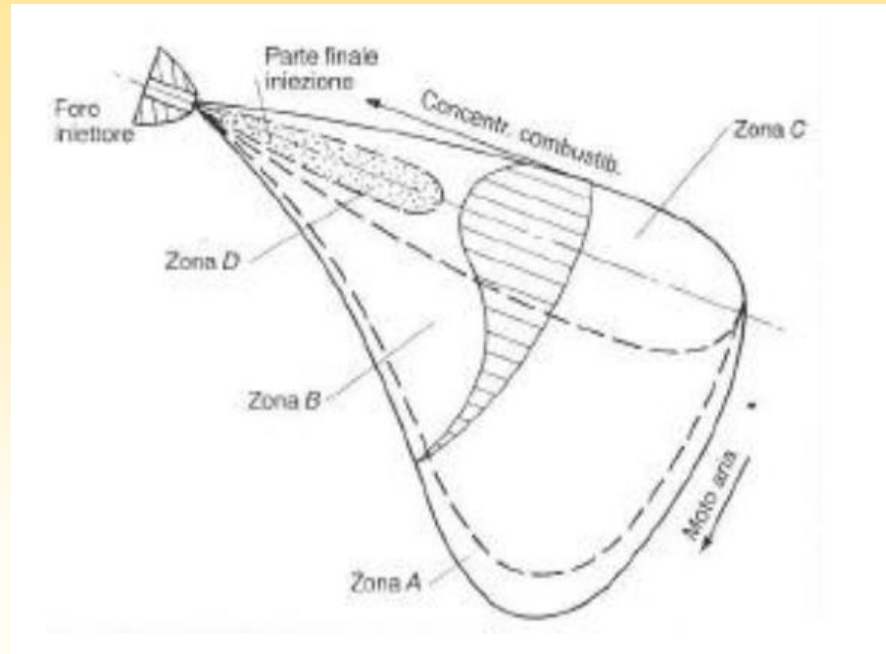


PARTICOLATO CARBONIOSO DERIVANTE DA MOTORE DIESEL

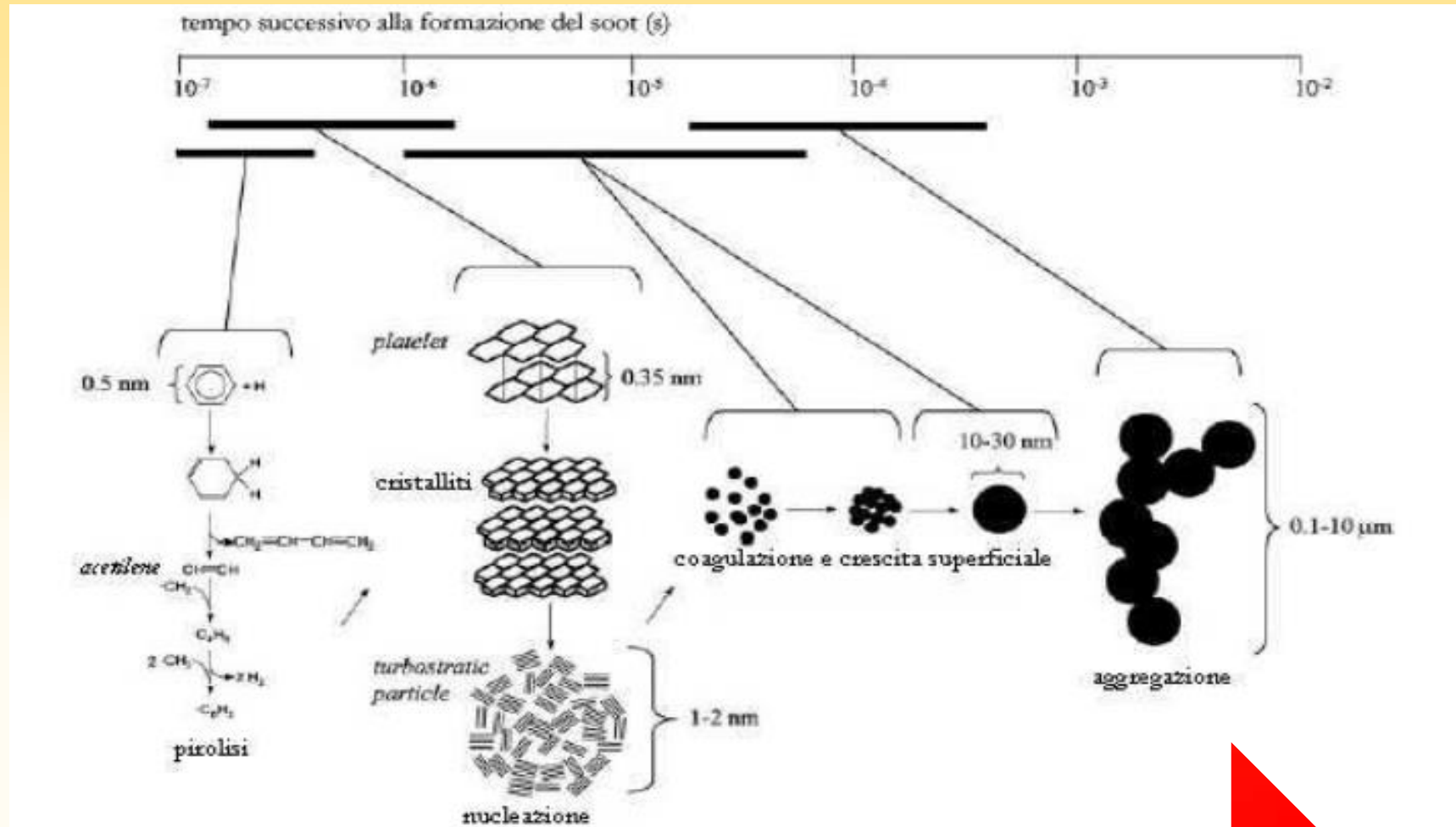
Il particolato, in un motore diesel, si forma fin dai primi istanti della fase di combustione. Dividiamo la i-esima goccia di combustibile allo spray, per definirne le aree in cui abbiamo formazione di particolato.

➤ **ZONA D/C: FORMAZIONE PARTICOLATO;** la zona centrale è certamente ricca di combustibile ma la trasformazione avviene in presenza di poca aria. Il rapporto tra Aria/Combustibile stechiometrico, su quello reale, è maggiore di uno, ovvero:

$$\Phi = \frac{\left(\frac{\text{aria}}{\text{combustibile}}\right)_{\text{stechiometrico}}}{\left(\frac{\text{aria}}{\text{combustibile}}\right)_{\text{reale}}} > 1$$



PROCESSI DI FORMAZIONE DEL PARTICOLATO



Pirolisi:
Platelets e
Cristalliti

Nucleazione

Coagulazione

**Crescita
Superficiale**

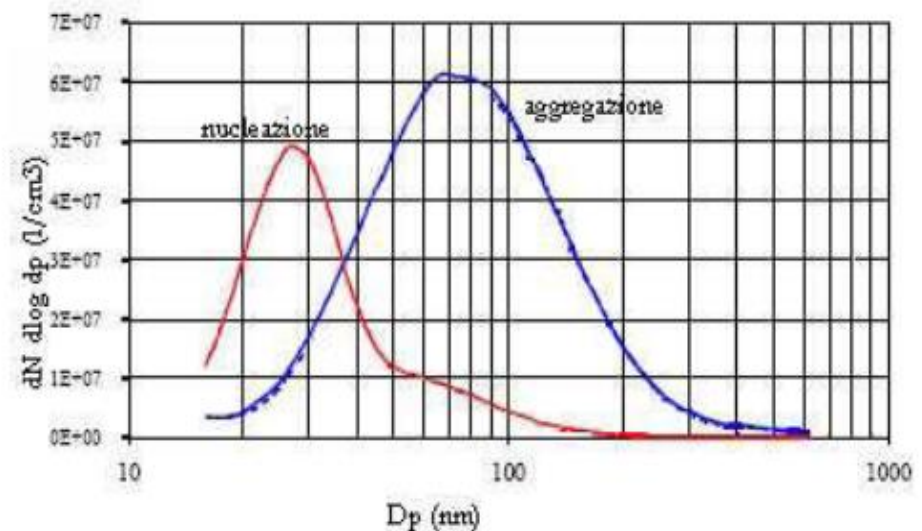
Aggregazione

DIAMETRI PARTICELLE

- **Diametro Geometrico**: misurato in modo diretto (possibile soltanto con tecnologie di ultima generazione);
- **Diametro di mobilità elettrica**: rappresenta il diametro di una particella sferica che, sotto le medesime condizioni di carica elettrica, ha la stessa velocità e traiettoria di quella in esame;
- **Diametro aerodinamico**: è il medesimo di una particella che presenta la stessa velocità di sedimentazione ma con densità pari a 1gr/cm^3 ;

Gli ultimi due sono intesi come equivalenti, data l'impossibilità di definire, con precisione, la geometria delle particelle, poiché queste non risultano perfettamente sferiche. Con **PM10 (Particulate Matter)** indichiamo la frazione di particelle avente diametro aerodinamico minore o pari a $10\mu\text{m}$.

	Diametro (μm)	Diametro (nm)
PM10	$D < 10$	$D < 10'000$
Fini	$D < 2.5$	$D < 2'500$
Ultrafini	$D < 0.10$	$D < 100$
Nanoparticelle	$D < 0.05$	$D < 50$



EFFETTI SULL'UOMO E SULL'AMBIENTE

Effetti sull'uomo

Particelle
 $dp < 0,1 \mu m$

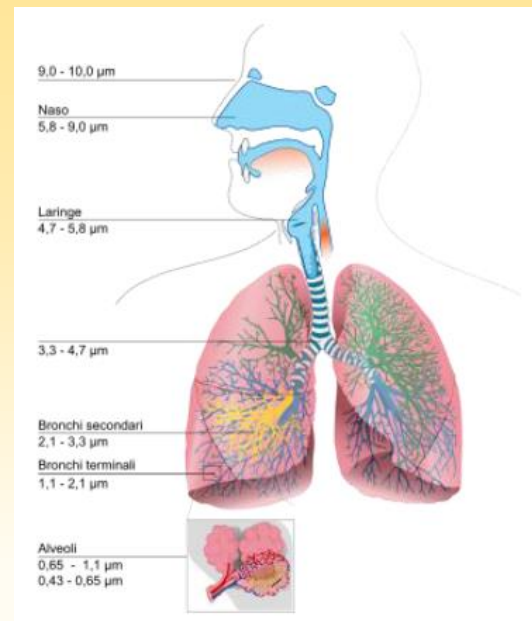
Irritazione delle
vie respiratorie

Aggravarsi di
malattie
respiratorie
croniche:

Asma

Bronchite

Se oltrepassano gli
alveoli polmonari:
Cancro



Effetti sull'ambiente

Aumento di nerofumo
(forma di particolato
carbonioso)
danneggiando:

Raffreddamento
superficie terrestre

Piogge acide

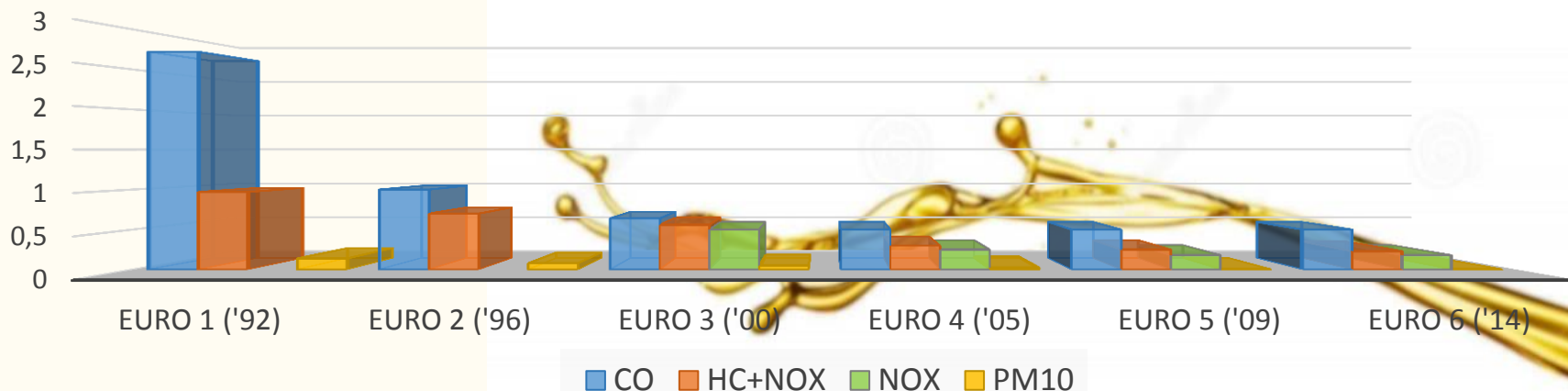
Circuiti elettrici ed
elettronici esposti

Opere d'arte, linee
architettoniche nitide,
superfici lisce di
costruzioni moderne

NORMATIVE EUROPEE

	Diesel						
	EURO 1 ('92)	EURO 2 ('96)	EURO 3 ('00)	EURO 4 ('05)	EURO 5 ('09)	EURO 6 ('14)	Unità di misura
CO	2,72	1	0,64	0,5	0,5	0,5	g/km
HC+NO X	0,97	0,7	0,56	0,3	0,25	0,23	
NOX			0,5	0,25	0,18	0,08	
PM10	0,14	0,08	0,05	0,025	0,005	0,005	

Evoluzione normativa Euro



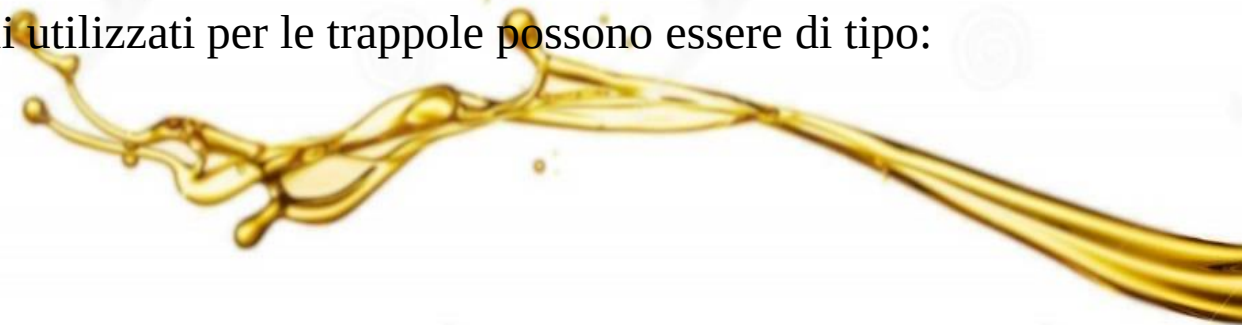
FILTRI ANTIPARTICOLATO

I filtri sono costituiti da quattro elementi fondamentali:

1. **Substrato**: ossia il corpo filtrante vero e proprio che trattiene il particolato disperso nei gas di scarico;
2. **Involucro**: alloggio del substrato, che deve essere isolato termicamente, fonoassorbente e antivibrante;
3. **Sistema di controllo e di gestione della rigenerazione**: provvede ad attivare particolari dispositivi (fili caldi, bruciatori) e regolare l'immissione di additivi, per la combustione della fuliggine accumulata;
4. **Sistema elettronico di diagnostica a bordo (OBD)**: avvisa l'autista della presenza di un eventuale guasto al sistema di filtrazione, o del momento in cui si deve intervenire per la sua manutenzione. I materiali utilizzati per le trappole possono essere di tipo:

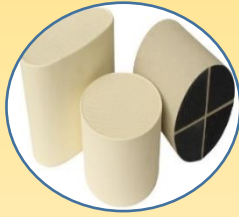
➤ CERAMICO

➤ METALLICO



MATERIALI A CONFRONTO

CERAMICI



IL CARBONIO DI SILICIO SIC (Eff.:60-90%)

- **PRO:** efficienza elevatissima
- **CONTRO:** sensibile agli shock termici

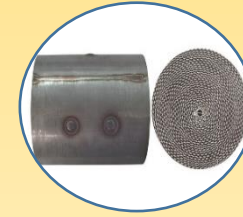
LA CORDIERITE (60-95%):

- **PRO:** resistente a forti escursioni termiche
- **CONTRO:** soffre rigenerazioni ad elevata temperatura

LA MULLITE (schiume e fibre ceramiche 30-70%)

- **PRO:** buona efficienza
- **CONTRO:** richiedono grossi volumi

METALLICI



METALLI SINTERIZZATI (EFFICIENZA > 75%)

- **PRO:** resistono agli shock termici, bassa contropressione
- **CONTRO:** richiedono grossi volumi, non catalizzabili

RETI METALLICHE (50-70%)

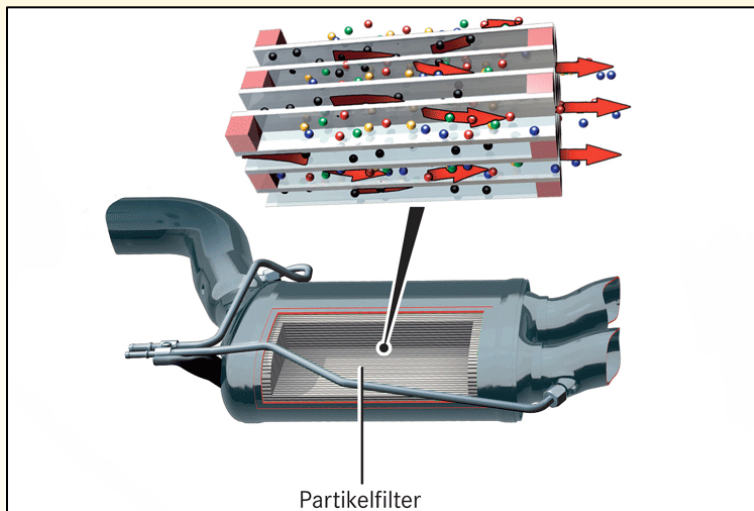
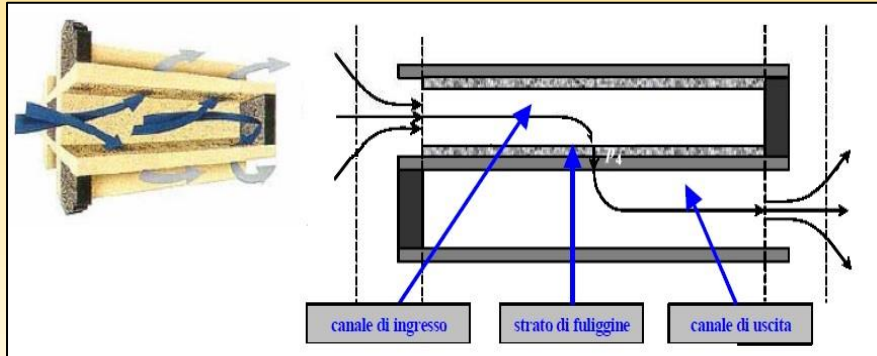
- **PRO:** catalizzabili, bassa contropressione
- **CONTRO:** richiedono grossi volumi

SCHIUMA DI UNA LEGA METALLICA (50-80%)

- **PRO:** più efficiente di tutti i materiali metallici
- **CONTRO:** alta contropressione

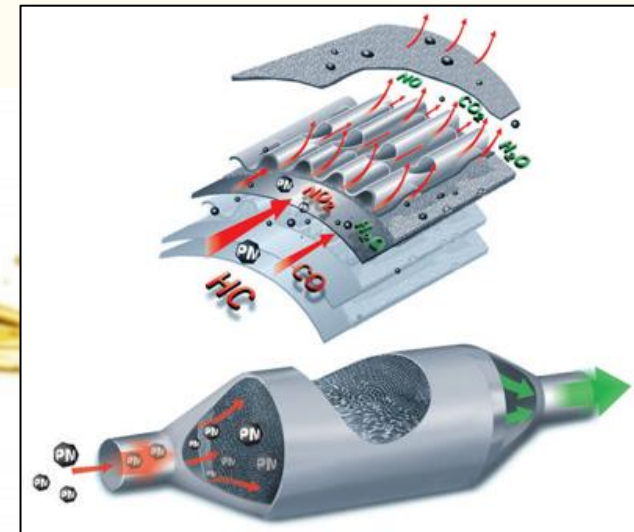
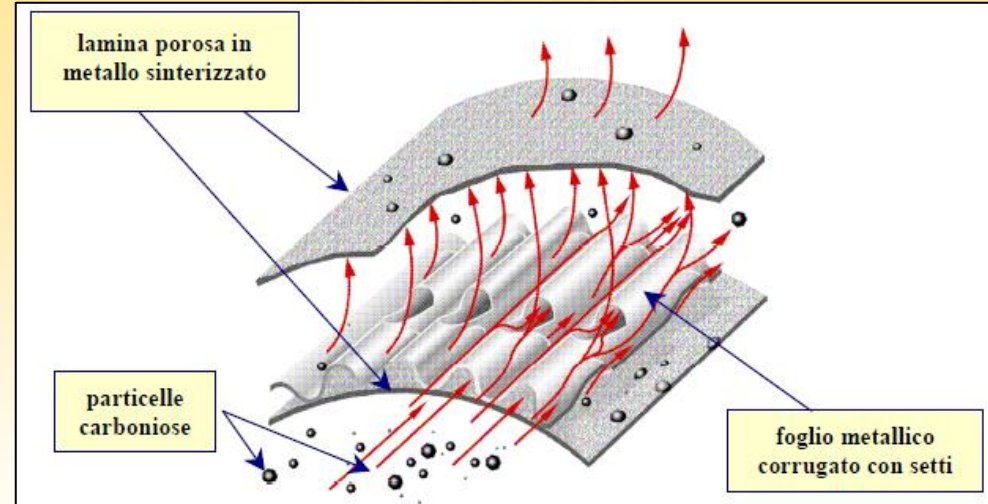
TIPOLOGIE DI FILTRO

FILTRO WALL-FLOW CERAMICO



I filtri **WALL-FLAW** presentano contropressioni maggiori rispetto ai **NON-BLOCKING** ma hanno efficienza maggiore.

FILTRO NON-BLOCKING A SUPPORTO METALLICO



MECCANISMI DI INTERCETTAZIONE DEL PARTICOLATO

Meccanismi di intercettazione del particolato: dipendono dalle dimensioni delle particelle presenti nei gas

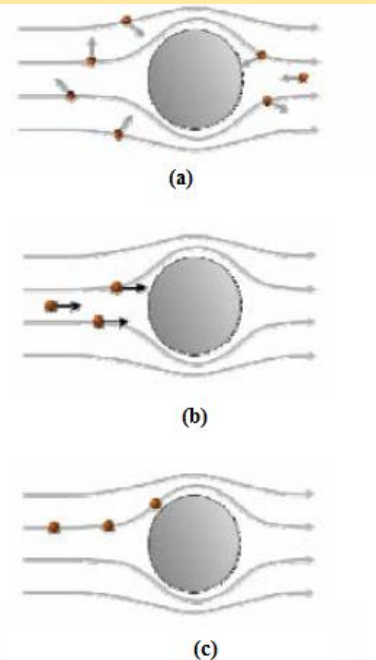
DEPTH FILTRATION: riguarda particelle molto fini.

CAKE FILTRATION: riguarda particelle di dimensioni maggiori degli interstizi del filtro.

Diffusional deposition:
(a)

Inertial deposition:
(b)

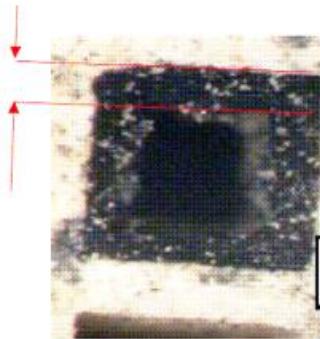
Streamline interception:
(c)



DIFFUSIONE = strato più spesso e meno denso



IMPATTO INERZIALE = strato meno spesso e più denso



LA RIGENERAZIONE

La rigenerazione consiste nella combustione (ossidazione) del film di fuliggine che si forma sulla superficie del substrato, in seguito al periodo di esercizio dell'autoveicolo.

La rigenerazione può essere:

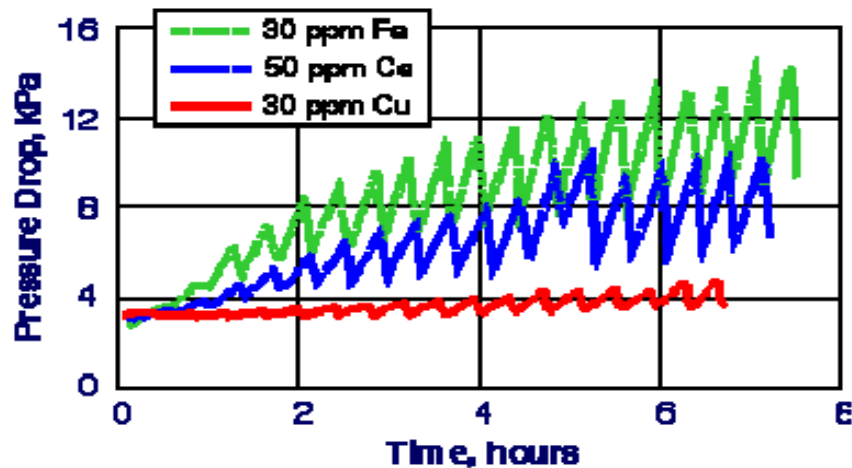
- **ATTIVA:** avviata tramite un sistema di controllo “on-line” della contropressione allo scarico.
- **PASSIVA:** agisce direttamente sulla combustione spontanea della fuliggine, attraverso l'uso di catalizzatori ossidanti.

- **LE PRINCIPALI TECNICHE SONO:**

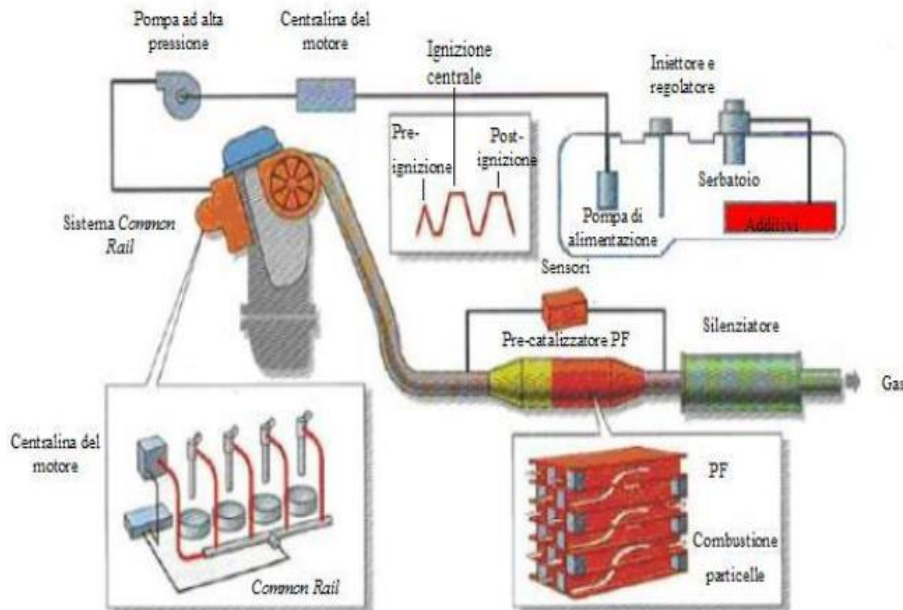
- RIGENERAZIONE CON ADDITIVI
- RIGENERAZIONE CTR
- RIGENERAZIONE WASHCOATED



RIGENERAZIONE CON ADDITIVO

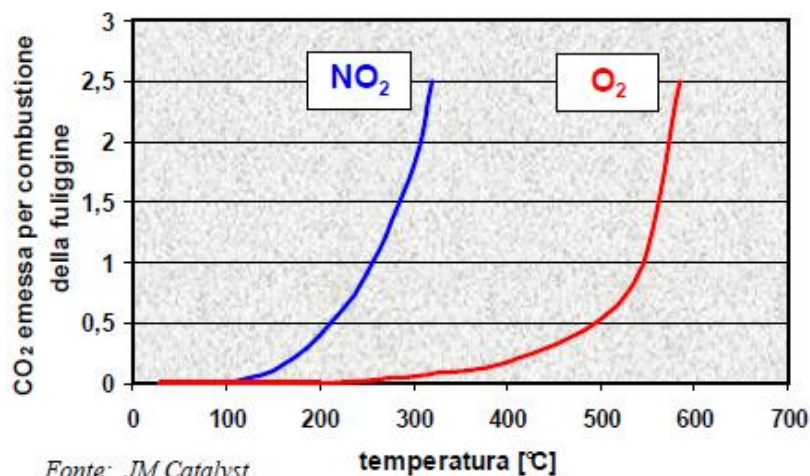
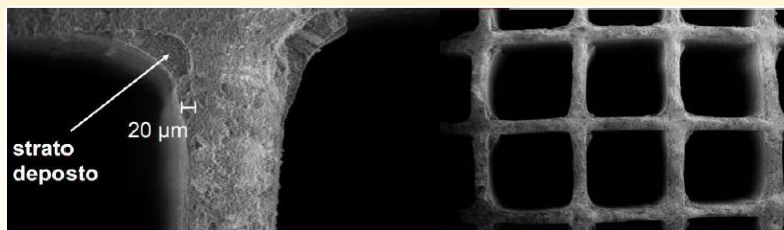


Prevede una rigenerazione con additivi, capaci di innescare la combustione spontanea della polvere, seppure assistita per questo considerata quasi-attiva o passiva-attiva. Sono composti organico-metallici: la parte organica viene ossidata nel cilindro, mentre la parte metallica viene incorporata nelle particelle di particolato, sotto forma di composti metallici. Gli additivi più utilizzati sono: **Ferro**, **Cerio**, **Rame**, **Platino**.



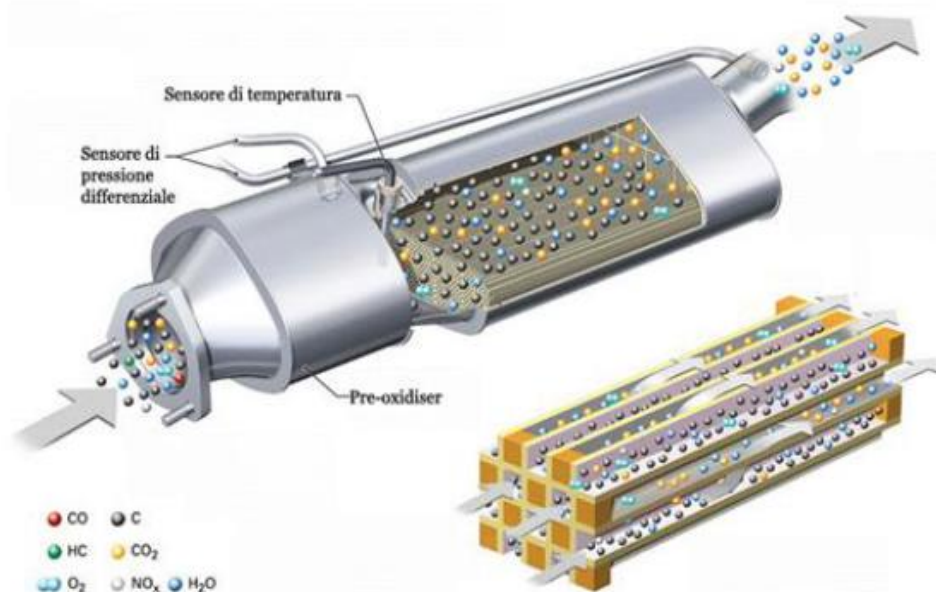
RIGENERAZIONE ASSISITITA WASHCOATED

Il washcoated consiste nel imbibire, rivestire, un substrato del filtro, un classico wall-flow ceramico in carburo di silicio o cordierite, con del materiale catalitico (ossidi di metalli).



RIGENERAZIONE CTR

Basata su un catalizzatore ossidante, a monte del filtro, la tecnologia nota come CRT, sviluppata da Johnson & Matthey, sfrutta l'impiego del biossido d'azoto come agente comburente per l'ossidazione delle particelle di particolato, in sostituzione dell'ossigeno residuo presente nei gas esausti.



CONCLUSIONI

Nonostante gli sforzi fatti finora non si è ancora riusciti a risolvere il problema della quantità di particolato ultrafine immessa in atmosfera durante i processi di rigenerazione. Vi sono evidenze inconfutabili che queste particelle hanno un effetto negativo sulla salute umana. Appare, quindi, evidente continuare a sviluppare la ricerca per ottimizzare e migliorare ancor più i dispositivi antiparticolato ma, al contempo, per ridurre l'impatto ambientale, sarebbe necessario far ricorso a strumenti normativi e fiscali per supportare quella che rappresenta, una delle più grandi sfide di questo secolo ovvero: creare un sistema di trasporto sostenibile.

